

での報告例は多くない。しかし、バイオ燃料電池の出力性能は格段に進歩してきているため、今後は、より実用に近いバイオ燃料電池の構造も重要な研究課題になると予測される。我々は、そういった視点から半導体作製技術を利用したバイオマイクロ燃料電池を開発してきた(図4)。図4(a)に示したマイクロ流路セルは電池性能の定量評価を行うために有効である³¹⁾。また、図4(b)のセルを用いることで、バイオ燃料電池を半自動的に直列化することができ、1V以上の出力電圧を得ることができた²¹⁾。さらに耐久性の向上を目指した発電システムや、経皮刺入のための針型バイオ燃料電池についても研究している(図4(c),(d))²¹⁾。

また、電極性能の向上と共に溶液中の酸素濃度の低さが問題となってきたため、気相の酸素を利用する空気極など酸素供給システムの開発も今後の重点課題と考えている。さらに、バイオ燃料電池の送液機構や電池の高密度集積化など、微細加工技術の積極的な活用による、バイオ燃料電池システムの開発が望まれる。

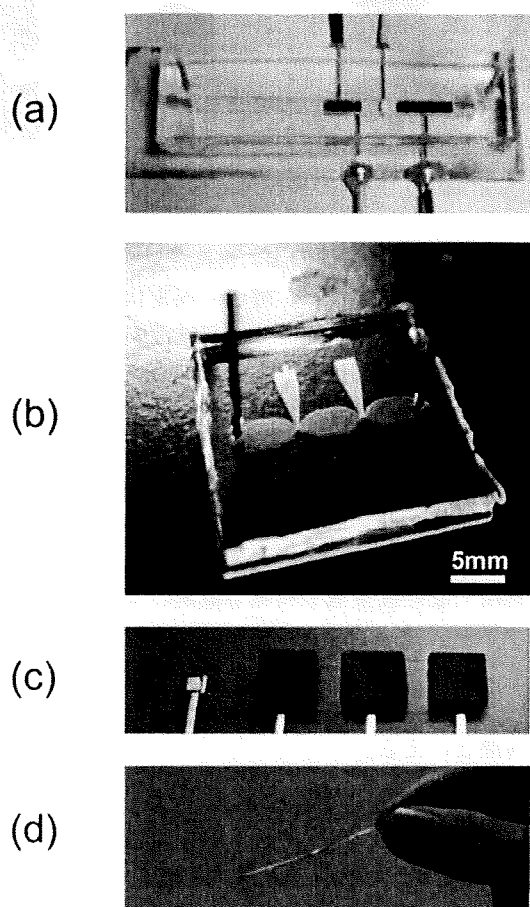


図4 MEMS技術によるバイオ燃料電池

4. バイオ燃料電池の応用

バイオ燃料電池は安全、小型、再生可能、混合燃料からの発電が可能といった利点を持つ一方で、出力電力や安定性に問題を抱えている。この10年ほどで急速に性能を伸ばしているため、今後も電極性能が改善されていくことが予測されるが、現状では大きな電力を長い期間供給させるような応用は困難である。よって、安全性や安価、小型といった特徴を活かした小型使い捨ての電源、特に短期的な生体埋め込みによる血糖モニタリング用の自己発電型センサーなどへの応用が現実的なものと考えられている^{34,67,49)}。その際には、2、3日程度の埋め込み期間、安定な電力を供給できることが望ましい。またこの場合、電極表面の生体適合性が電池の安定性を左右するため、触媒性能と併せた検討が必要である。

5. おわりに

以上紹介したように、バイオ燃料電池の研究は、世界的に研究が活発化しており、出力が数mA、数mWのものが次々と報告されてきている。実用化のためには、安定性の一層の向上と使用方法に応じた電池構造が必要とされる。酵素や電極材料、微細加工、電池開発など日本の得意とする研究分野を伸ばし、それらを組み合わせることで、バイオ燃料電池の実用化が期待される。

謝辞

本稿で紹介した我々の研究成果は、厚生労働省科研究費・医療機器開発推進研究事業のご支援の下、研究テーマ「分散型ナノ植え込み機器を活用した慢性心不全患者の統合的デバイス治療の開発」のなかで得られたものです。感謝いたします。

文献

- 1) 辻村清也, 加納健司: *Electrochemistry*, **76**, 900 (2008).
- 2) Topcagic, S., Minteer, S.D.: *Electrochim. Acta*, **51**, 2168 (2006).
- 3) Heller, A.: *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **6**, 209 (2004).
- 4) Mano, N., Mao, F., Heller, A.: *J. Am. Chem. Soc.*, **125**, 6588 (2003).
- 5) Tsujimura, S., Kano, K., Ikeda, T.: *Electrochemistry*, **70**, 940 (2002).
- 6) Katz, E., Buckmann, A.F., Willner, I.: *J. Am. Chem. Soc.*, **123**, 10752 (2001).
- 7) Katz, E., Filanovsky, B., Willner, I.: *New J.*

- Chem.*, **23**, 481 (1999).
- 8) Tamaki, T., Yamaguchi, T.: *Ind. Eng. Chem. Res.*, **45**, 3050 (2006).
 - 9) Togo, M., Takamura, A., Asai, T., Kaji, H., Nishizawa, M.: *J. Power Sources*, **178**, 53 (2008).
 - 10) Togo, M., Takamura, A., Asai, T., Kaji, H., Nishizawa, M.: *Electrochim. Acta*, **52**, 4669 (2007).
 - 11) Sato, F., Togo, M., Islam, M.K., Matsue, T., Kosuge, J., Fukasaku, N., Kurosawa, S., Nishizawa, M.: *Electrochem. Commun.*, **7**, 643 (2005).
 - 12) Sakai, H., Nakagawa, T., Tokita, Y., Hatazawa, T., Ikeda, T., Tsujimura, S., Kano, K.: *Energy & Environmental Science*, **2**, 133 (2009).
 - 13) Gorton, L., Lindgren, A., Larsson, T., Munteanu, F.D., Ruzgas, T., Gazaryan, I.: *Anal. Chim. Acta*, **400**, 91 (1999).
 - 14) Kamitaka, Y., Tsujimura, S., Setoyama, N., Kajino, T., Kano, K.: *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **9**, 1793 (2007).
 - 15) Coman, V., Vaz-Dominguez, C., Ludwig, R., Herreither, W., Haltrich, D., De Lacey, A.L., Ruzgas, T., Gorton, L., Shleev, S.: *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **10**, 6093 (2008).
 - 16) Okuda-Shimazaki, J., Kakehi, N., Yamazaki, T., Tomiyama, M., Sode, K.: *Biotechnol. Lett.*, **30**, 1753 (2008).
 - 17) Palmore, G.T.R., Bertschy, H., Bergens, S.H., Whitesides, G.M.: *J. Electroanal. Chem.*, **443**, 155 (1998).
 - 18) Fukuda, J., Tsujimura, S., Kano, K.: *Electrochim. Acta*, **54**, 328 (2008).
 - 19) Sokic-Lazic, D., Minteer, S.D.: *Biosens. Bioelectron.*, **24**, 939 (2008).
 - 20) Arechederra, R.L., Minteer, S.D.: *Fuel Cells* (2008).
 - 21) 西澤松彦: *Electrochemistry*, **76**, 916 (2008).

L-ノルバリンの製法開発

ダイセル化学 林 素子、山本浩明

1. はじめに

EVAL (N-[1-(S)-(ethoxycarbonyl)butyl]-(S)-alanine) は、ACE阻害剤であるPerindoprilの重要中間体であり、非天然アミノ酸であるL-ノルバリン (L-Nva, (S)-2-aminopentanoic acid) から合成される。アミノ酸は、キラルシントンとして古くから用いられてきた。¹⁾ これは、アミノ酸が天然に大量に存在する光学活性化合物であり、容易に入手可能であることが理由である。しかし、非天然アミノ酸は、通常の代謝経路を用いた発酵法やタンパク質の加水分解物の精製で得ることは、ヒドロキシプロリンなど一部の例外を除いて困難である。そこで、EVALの原料たるL-Nvaの製法開発を行った。

光学活性な非天然アミノ酸を合成するには、いくつかの方法が考えられる。中でも、対応する α -ケト酸のアミノ化が容易に考えうるが、L-Nvaの原料である α -ケト吉草酸 (KVA, 2-oxopentanoic acid) は経済性、安定性に問題があり、且つ工業的なスケールで入手が困難であった。それに対してラセミのNvaはストレッカー法で容易に合成でき、比較的安価に必要な量を入手できたため、ラセミ体を原料として使用することにした。

ラセミ体を原料とした光学活性L-アミノ酸の合成には、ラセミのN-アセチルアミノ酸をアシラーゼ等で光学分割する方法が広く用いられている。しかし、この方法は必要な立体と不要な立体

著者連絡先：林 素子 (はやし・もとこ) 〒944-8550新潟県妙高市新工町1-1 ダイセル化学工業株式会社
新井工場 CPIカンパニー ライフサイエンス開発センター mk_hayashi@daicel.co.jp、http://www.daicel.co.jp

山本浩明 (やまもと・ひろあき) 〒671-1283兵庫県姫路市網干区新在家1239 ダイセル化学工業株式会社
研究統括部 コーポレート研究所 h-yamamoto@daicel.co.jp

バイオ電池の最新開発動向 安価で安全な小型電源として注目を集める ユビキタス社会や未来医療での応用に期待

三宅丈雄, 西澤松彦/東北大学 大学院工学研究科

生体触媒（酵素）を利用するバイオ電池は、出力性能や寿命に課題を有しつつも、圧倒的に安全で、環境・生体親和性に優れる発電デバイスとして見逃せない。これらの利点と弱点を十分に意識した応用分野の設定とデバイス化技術の開拓が、他の発電システムとの差別化と将来の実用化に向けて重要である。

はじめに

生命活動と一体化する発電デバイスの研究が、環境問題に対応する次世代エネルギーシステムを構想する中で見逃せないオプションとなっている。生体エネルギー変換の産物（運動、体温など）を電力に変換するエネルギー・ハーベスティング素子が、一種のパワーMEMSとして盛んに研究され、一部実用化に至っている。

さらに、体内エネルギー変換の核心である酵素反応を利用する発電デバイス、すなわち「バイオ電池」を照らすスポットライトも明るさを増してきた。

60年代のアポロ計画に始まるバイオ電池の研究が再燃する背景としては、電子機器の超小型化・省電力化に対応した新型電源の必要性に加えて、有機物のみによる構成が可能なバイオ電池に対する環境対策からの期待もある。

バイオ電池の魅力

一般の燃料電池との対比で見れば、バイオ燃料電池は白金などの金属触媒が生体触媒（酵素）に置き換わったシステムである（図1）。微生物を用いるタイプも環境浄化機能や光エネルギー利用などの可能性を有しているた

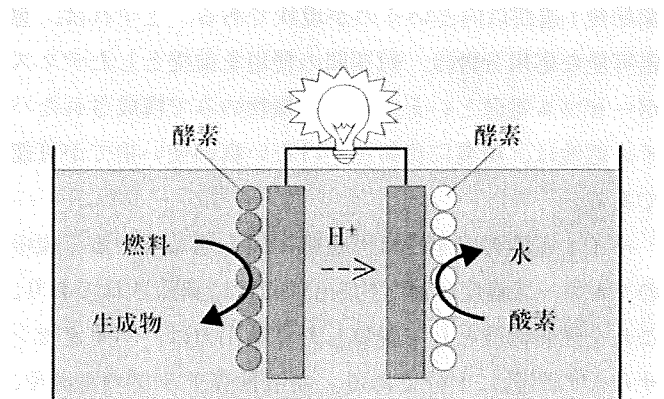


図1 バイオ電池の構造

め、極めて重要であるが、ここでは酵素の利用を中心に述べる。

バイオ電池の特徴を表1にまとめた。埋蔵量が限られる白金などとは違って、大量生産が可能な酵素は安価になり得る。温和な条件で様々なバイオマスを酸化するのが手に入る。さらに重要なのは、酵素の基質特異性である。特定の反応しか触媒しないため、アノード極とカソード極を仕切るセパレータが不要になるとともに、身の回りに存在する燃料溶液（例えば、ジュースや体液など）を精製せずに直接利用できる。以上のメリットを集約すると、バイオ電池は「安価で安全な小型電源」として魅力的である。

バイオ電池の課題と応用分野

上記の表1による説明はバイオ電池の利点を強調したもののだが、電流密度が必ずしも高くないことや、酵素の安定性が無機触媒に劣ることは、改善すべき課題であると同時に、応用分野を想定する際に考慮すべき弱点でも

表1 バイオ電池の特徴と利点

| | 通常の燃料電池 | バイオ電池 | 利点 |
|--------|---------------------------------|-------------------|------------|
| 電極触媒 | 白金 | 酵素・微生物 | 安価 |
| 燃料 | H ₂ ・メタノール | グルコース他 バイオマス全般 | 多様 安全 |
| システム構成 | アノード・カソード セパレータ 燃料改質器・精製器 | アノード・カソード | シンプル 小型 |

ある。酵素電極の耐久性は、使用状況にもよるが、発電開始後1週間以内というのが現状である。とすれば、想定可能な応用分野は、短期間の使用を前提としたディスプレイポータブル電源といえよう。有機物のみで構成されたバイオ電池は、環境に負荷をかけない真の使い捨てが可能である。

バイオ電池の安全性は医療応用にも適している。血中のグルコース濃度は通常約5mM程度に調節されており、これを燃料溶液として推算した電池出力は、バイオセンサなどの駆動に十分である。血液検査チップの電源や、術後モニタ皮下埋植センサの電源などには、耐久性を考慮しても、現時点ですでに実用化が検討可能である。しかし、ペースメーカー用電源など、体内深部への長期埋め込みを実現するためには、バイオ電池の安定性が大幅に向上することを待たねばならない。

研究開発動向と展望

バイオ電池システムの研究は、電極自体の性能改善を中心に進められてきた。最近のトピックスとしては、電極と直接電子移動できる酵素（電子メディエータを必要としない）がいくつか見出されたことや、数種類の酵素反応を連続させることによる多段階酸化の実現などがある¹⁾。

酵素の探索と同等に重要なのが、電極の構造と酵素の固定化技術である。最近では、カーボン微粒子やカーボンナノチューブなどの多孔質電極による酵素の高密度固定によって出力性能は着々と向上しており、数mWcm⁻²程度（数～数十mAcm⁻²程度）の出力が得られ、市販の電子機器が駆動できるまでになってきている²⁾。

小型で安全なディスプレイポータブル電源として魅力的なバイオ電池のデバイス化にはMEMS技術が有効であるが、

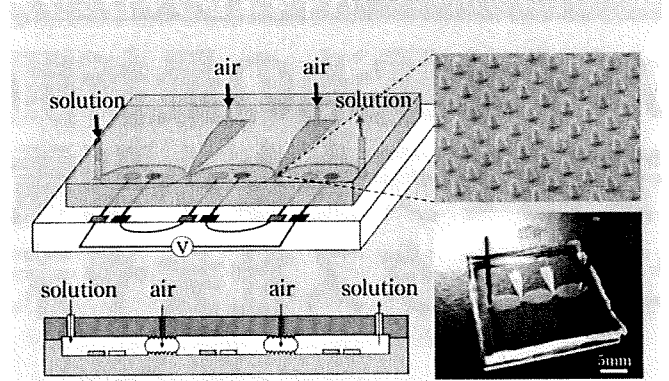


図2 MEMSバイオ電池 超撥水エアバルブによる自動スタッキング

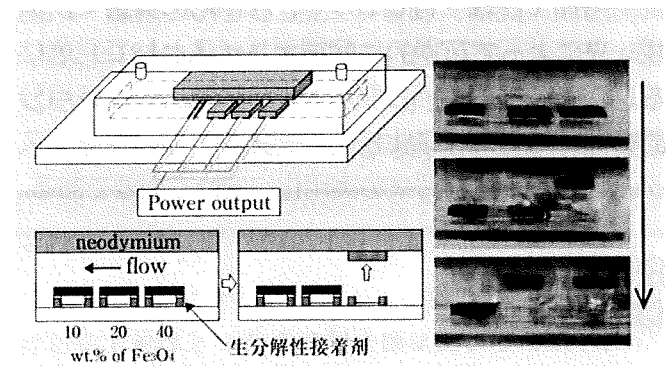


図3 MEMSバイオ電池 時差式発電システムによる長寿命化の試み

それは単なるパッケージングに留まらず、前述したバイオ電池の特徴を生かし、さらに弱点を補うためにも有効である。例えば図2では、マイクロ流路内に配列した電池の間に超撥水性の構造（ハスの葉表面の構造）を造り込み、自動的なスタッキング（直列つなぎ）によって1V以上の出力電圧を得ている³⁾。また、図3の例は、寿命が短いという弱点を補う工夫である。複数のアレイ化した電池が、時差を有して順々に発電を開始する仕組みが造り込まれている⁴⁾。

以上述べたように、酵素を電極触媒とするバイオ電池は、ユビキタス社会や未来医療を支援する小型で安全な発電デバイスとしての可能性に満ちており、実用化に向けた取り組みがいよいよ始まろうとしている。 □

参考文献

- 1) バイオ電気化学の実際, CMC出版, 2007.
- 2) H. Sakai et al., Energy Environ. Sci., 2, 2009, 133.
- 3) M. Togo et al., Technical Digest, Transducers09, 2102.
- 4) 西澤松彦, Electrochemistry, 76, 2008, 916.

